

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Metalurgi Serbuk (*Powder Metallurgy*)

Metalurgi serbuk merupakan proses pembentukan benda kerja komersial dari logam dimana logam dihancurkan dahulu berupa serbuk, kemudian serbuk tersebut ditekan didalam cetakan (*mold*) dan dipanaskan di bawah temperatur leleh serbuk sehingga terbentuk benda kerja. Sehingga partikel-partikel logam memadu karena mekanisme transportasi masa akibat difusi atom antar permukaan partikel. Metode metalurgi serbuk memberikan kontrol yang teliti terhadap komposisi dan penggunaan campuran yang tidak dapat difabrikasi dengan proses lain. Sebagai ukuran ditentukan oleh cetakan dan penyelesaian akhir (*finishing touch*).

Langkah-langkah dasar pada *powder metallurgy* :

1. *Pembuatn serbuk.*
2. *Mixing.*
3. *Compaction.*
4. *Sintering.*
5. *Finishing.*

2.1.1 Pembuatan serbuk

Ada beberapa cara dalam pembuatan serbuk antara lain :

Decomposition, electrolytic deposition, atomization of liquid metals, mechanical processing of solid materils.

1. Decomposition, terjadi pada material yang berisikan elemen logam. Material akan menguraikan/memisahkan elemen-elemennya jika dipanaskan pada temperature yang cukup tinggi. Proses ini melibatkan dua reaktan, yaitu senyawa metal dan reducing agent. Kedua reaktan mungkin berwujud solid, liquid, atau gas.
2. Atomization of Liquid Metals, material cair dapat dijadikan powder (serbuk) dengan cara menuangkan material cair dilewatkan pada nozzel yang dialiri air bertekanan, sehingga terbentuk butiran kecil-kecil.
3. Electrolytic Deposition, pembuatan serbuk dengan cara proses elektrolisis yang biasanya menghasilkan serbuk yang sangat reaktif dan brittle. Untuk itu material hasil electrolytic deposition perlu diberikan perlakuan annealing khusus. Bentuk butiran yang dihasilkan oleh electolitic deposits berbentuk dendritik.
4. Mechanical Processing of Solid Materials, pembuatan serbuk dengan cara menghancurkan material dengan ball milling atau dengan proses pengikisan dengan mechanical grinding. Material yang dibuat dengan Mechanical processing harus material yang mudah retak seperti logam murni, bismuth, antimony, paduan logam yang relative keras dan brittle, dan keramik.

Sifat-Sifat Khusus Serbuk Logam

1. Ukuran Partikel

Metoda untuk menentukan ukuran partikel antara lain dengan pengayakan atau pengukuran mikroskopik. Kehalusan berkaitan erat dengan ukuran butir. Faktor ini berhubungan dengan luas kontak antar permukaan, butir kecil mempunyai porositas yang kecil dan luas dan kontak antar permukaan besar sehingga difusi antar permukaan juga semakin besar dan kompaktibilitas juga tinggi.

2. Distribusi Ukuran Dan Mampu Alir

Dengan distribusi ukuran partikel ditentukan jumlah partikel dari ukuran standar dalam serbuk tersebut. Pengaruh distribusi terhadap mampu alir dan porositas produk cukup besar. Mampu alir merupakan karakteristik yang menggambarkan alir serbuk dan kemampuan memenuhi ruang cetak.

3. Sifat Kimia

Terutama menyangkut kemurnian serbuk, jumlah oksida yang diperbolehkan dan kadar elemen lainnya. Pada metalurgi serbuk diharapkan tidak terjadi reaksi kimia antara matrik dan penguat.

4. Kompresibilitas

Kompresibilitas adalah perbandingan volum serbuk dengan volum benda yang ditekan. Nilai ini berbeda-beda dan dipengaruhi oleh distribusi ukuran dan bentuk butir, kekuatan tekan tergantung pada kompresibilitas.

5. Kemampuan *sinter*

Sinter adalah prose pengikatan partikel melalui proses penekanan dengan cara dipanaskan 0.7-0.9 dari titik lelehnya.

2.2 *Mixing* (pencampuran serbuk)

Pencampuran serbuk dapat dilakukan dengan mencampurkan logam yang berbeda dan material-material lain untuk memberikan sifat fisik dan mekanik yang lebih baik. Pencampuran dapat dilakukan dengan proses kering (*dry mixing*) dan proses basah (*wet mixing*). Pelumas (*lubricant*) mungkin ditambahkan untuk meningkatkan sifat *powders flow*. Binders ditambahkan untuk meningkatkan *green strenghtnya* seperti wax atau polimer termoplastik.

2.3 *Compaction* (*Powder consolidation*)

Proses kompaksi adalah suatu proses pembentukan logam dari serbuk logam dengan mekanisme penekanan setelah serbuk logam dimasukkan ke dalam cetakan (*die*). Proses kompaksi pada umumnya dilakukan dengan penekanan satu arah dan dua arah. Pada penekan satu arah penekan atas bergerak kebawah. Sedangkan pada dua arah, penekan atas dan penekan bawah saling menekan secara bersamaan dalam arah yang berlawanan. Jenis dan macam produk yang dihasilkan oleh proses metalurgi serbuk sangat ditentukan proses kompaksi dalam membentuk serbuk dengan kekuatan yang baik.

Bahan dengan kekerasan rendah, seperti aluminium, kuningan, dan perunggu memerlukan tekanan pemadatan yang rendah.

Bahan-bahan dengan kekerasan tinggi seperti besi, baja, dan nikel paduan memerlukan tekanan pemadatan yang tinggi. Semakin tinggi tekanan pemadatan akan menaikkan berat jenis hingga kondisi optimum. Di atas tekanan optimum tersebut, peningkatan tekanan tidak akan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kenaikan massa jenis.

Penekanan terhadap serbuk dilakukan agar serbuk dapat menempel satu dengan lainnya sebelum ditingkatkan ikatannya dengan proses *sintering*. Dalam proses pembuatan suatu paduan dengan metode metalurgi serbuk, terikatnya serbuk sebagai akibat adanya *interlocking* antar permukaan, interaksi adhesi-kohesi, dan difusi antar permukaan. Untuk yang terakhir ini (difusi) dapat terjadi pada saat dilakukan proses *sintering*. Bentuk benda yang dikeluarkan dari *pressing* disebut bahan kompak mentah, telah menyerupai produk akhir, akan tetapi kekuatannya masih rendah. Kekuatan akhir bahan diperoleh setelah proses *sintering*.

Tekanan pemadatan yang diperlukan tergantung pada jenis bahan serbuk yang berkisar antara 70 Mpa (10 ksi) hingga 800 Mpa (120 ksi) (Kalpakjian, 1989).

Metal	Pressure (MPa)
Aluminum	70–275
Brass	400–700
Bronze	200–275
Iron	350–800
Tantalum	70–140
Tungsten	70–140
Other materials	
Aluminum oxide	110–140
Carbon	140–165
Cemented carbides	140–400
Ferrites	110–165

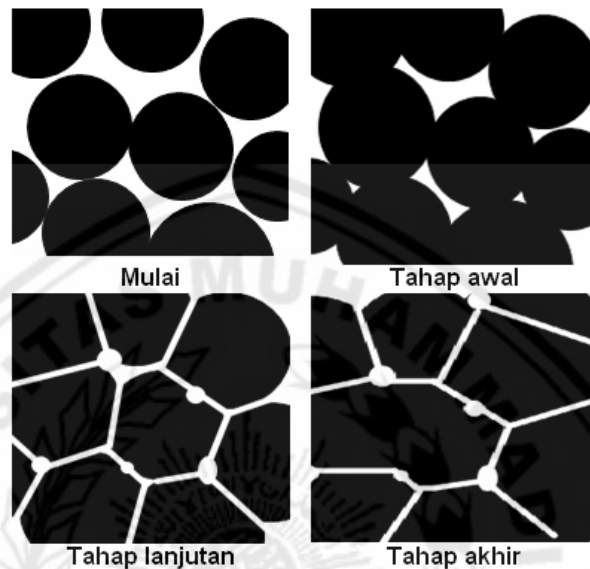
Tabel 2.1 Tekanan Kompaksi pada Berbagai Macam Serbuk Logam

2.4 Sintering

Proses sinter merupakan metode pembuatan produk dari bahan serbuk yang sebelumnya dilakukan proses kompaksi(cetak) kemudian dengan memanaskan material dibawah titik leburnya sehingga partikel partikelnya berikatan satu sama lain.

Pada proses *sinter*, benda padat terjadi karena terbentuk ikatan-ikatan antar partikel. Panas menyebabkan bersatunya partikel dan efektivitas reaksi tegangan permukaan meningkatdengan perkataan lain, proses *sinter* menyebabkan bersatunya partikel sedemikian rupa sehingga kepadatan bertambah. Selama proses ini terbentuklah batas-batas butir, yang merupakan tahap permulaan rekristalisasi. Di samping itu, gas yang ada menguap dantemperatur *sinter* umumnya berada di bawah titik cair unsur serbuk utama selama proses *sinter*

terjadi perubahan dimensi, baik berupa pengembangan maupun penyusutan tergantung pada bentuk dan distribusi ukuran partikel serbuk, komposisi serbuk, prosedur *sinter* dan tekanan pemampatan (German, 1994).



Gambar 2.1 Pertumbuhan ikatan mikrostruktur antar partikel logam selama proses *sinter* (German, 1994).

Setelah dilakukan proses sintering terhadap sample yang sebelumnya telah dilakukan proses kompaksi maka ikatan antar serbuk akan semakin kuat. Meningkatnya ikatan setelah proses sintering ini disebabkan timbulnya *liquid bridge (necking)* sehingga porositas berkurang dan bahan menjadi lebih kompak. Dalam hal ini ukuran serbuk juga berpengaruh terhadap kompaktibilitas bahan, semakin kecil ukuran serbuk maka porositas kecil dan luas kontak permukaan antar butir semakin luas.

Proses sinter dalam metalurgi serbuk memegang peranan yang cukup penting dalam menentukan sifat akhir dari produk yang akan dihasilkan. Proses sinter sendiri diartikan sebagai perlakuan panas untuk mengikat partikel-partikel menjadi koheren, menghasilkan struktur padat melalui transport massa yang biasa terjadi dalam skala atom. Ikatan yang terbentuk akan meningkatkan kekuatan dan menurunkan energi dari sistem.

Proses sinter dapat dilakukan dengan memberikan tekanan maupun tanpa tekanan (pressureless). Proses sinter tanpa tekanan dibagi lagi menjadi solid state sintering dan liquid phase sintering. Keberadaan dari cairan (liquid) pada siklus proses sinter dapat mempercepat transport massa, pemadatan, dan pengkasaran butir. Kebanyakan dari proses sinter yang dilakukan ialah tanpa pemberian tekanan (pressureless sintering). Pressure-assisted sintering merupakan teknik baru, pemberian tekanan selama proses sinter sangat berguna untuk memproses material yang tidak reaktif daripada menggunakan siklus proses sinter konvensional, contohnya material komposit dan intermetalik temperatur tinggi. Apabila tekanan yang diberikan rendah, menghasilkan pemadatan yang dikontrol oleh diffusional creep. Kemungkinan lain, pemadatan pada tekanan tinggi dipercepat apabila tegangan efektif melebihi kekuatan luluh material. Tekanan yang diberikan biasanya hidrostatik (hot isostatic pressing) atau uniaksial (forging dan hot pressing).

2.4.1 Tahapan proses sinter

Pada proses sinter terdapat beberapa tahapan yang dialami oleh partikel-partikel serbuk, yakni :

1. Point contact
2. Initial stage
3. Intermediate stage
4. Final stage

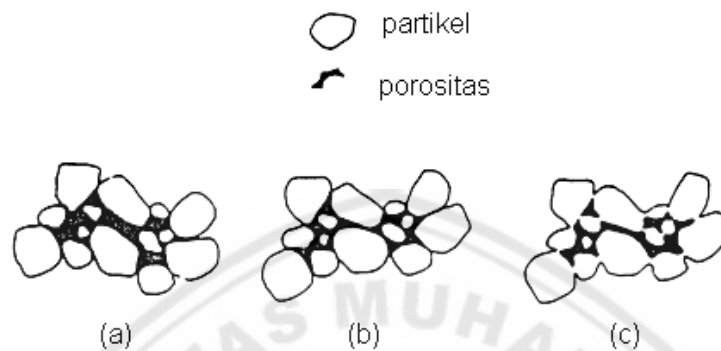
1. Point contact (ikatan awal antartartikel)

Pada tahap ini, partikel lepas membentuk titik kontak antartartikel lainnya pada orientasi acak. Kekuatan ikatan kontak yang terjadi masih lemah dan belum terjadi perubahan dimensi bakalan. Semakin tinggi berat jenis bakalan maka bidang kontak yang terjadi antartartikel juga semakin banyak sehingga ikatan yang terjadi pada proses sinter pun semakin besar. Pengotor yang menempel pada batas kontak mengurangi jumlah bidang kontak sehingga kekuatan produk sinter menjadi turun.

2. Tahap Awal (*Initial Stage*),

Secara umum ditandai dengan penyusunan kembali formasi leher, yang meliputi penyusunan kembali partikel dan formasi leher awal di titik kontak antar partikel, penyusunan kembali formasi partikel setelah mengalami pergerakan untuk meningkatkan jumlah titik kontak dan pada akhirnya membentuk ikatan

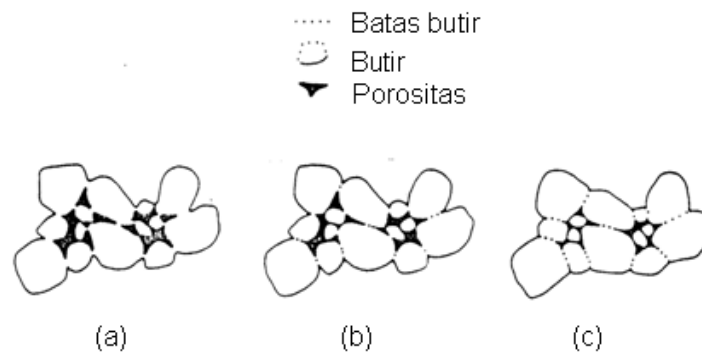
pada titik kontak tersebut, dengan pergerakan material terjadi dengan energi permukaan tertinggi (German, 1994). Tahapan pertama dalam proses *sinter* seperti ditunjukkan Gambar 2.3.



Gambar 2.2 Tahap pertama proses *sinter*, a) Partikel awal, b) Penyusunan kembali, c) Terbentuknya formasi leher(German, 1994).

3.Tahap Kedua (Intermediate Stage)

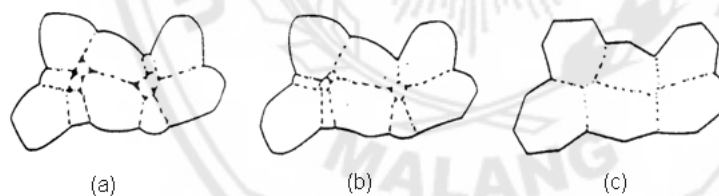
Pertumbuhan leher terus berlanjut, yang diikuti dengan pertumbuhan butir dan pertumbuhan pori. Perubahan fisik selama tahap kedua adalah sebagai berikut pertumbuhan ukuran leher antar partikel, porositas menurun atau berkurang, pusat partikel bergerak semakin dekat secara bersama-sama, penyusutan setara dengan jumlah berkurangnya porositas, batas butir mulai berpindah sehingga butir mulai bertumbuh, terbentuknya saluran yang saling berhubungan(continuous channel) dan berakhir ketika porositas terisolasi. Penyusutan secara maksimal terjadi pada tahap kedua (German, 1994). Tahapan kedua proses sinter ditunjukkan Gambar 2.4.



Gambar 2.3 a) Pertumbuhan leher dan volume penyusutan b) Perpanjangan dari batas butir, c) Pertumbuhan butir berlanjut dan batas butir meluas, volume penyusutan dan pertumbuhan butir (German, 1994).

4. Final stage

Tahap Ketiga (Final Stage) ditandai dengan hilangnya struktur pori dan munculnya batas butir. Perubahan fisik selama tahap akhir meliputi porositas mengalami pergerakan terakhir dan pertumbuhan butir terjadi. Mekanisme sinter tahap ketiga ditunjukkan seperti Gambar 2.6 dan Gambar 2.7.



Gambar 2.4 a) Pertumbuhan leher dengan discontinues pore-phase, b) Pertumbuhan butir dengan pengurangan porositas, c) Pertumbuhan butir (German, 1994).

5. Solid state sintering

Solid state sintering merupakan pemanasan yang dilakukan dengan melibatkan fasa padat, tanpa melibatkan fasa cair. Proses sinter membentuk ikatan

padat antara partikel-partikel ketika pemanasan berlangsung. Ikatan-ikatan tersebut mengurangi energi permukaan dengan memindahkan kembali permukaan bebas, dengan eliminasi kedua dari luas batas butir melalui pertumbuhan butir.

Dengan bertambahnya pemanasan, memungkinkan pengurangan volume pori, menuju compact shrinkage, walaupun pada proses sinter perubahan dimensi tidak diinginkan. Dengan demikian terdapat dua bentuk proses sinter dalam industri, yakni proses sinter yang berfokus pada pemadatan, dan yang berfokus pada kekuatan tanpa perlu melibatkan perubahan dimensi. Material struktural seperti silicon nitride, alumina, cemented carbides, steels, dan silicon carbide diproses full density dengan proses sinter pada temperatur relatif tinggi. Sedangkan struktur seperti kapasitor, bearings, filters, elektroda baterai, penyerap bunyi, permeators, ionizers, casting cores, dan alat mekanik dilakukan proses sinter di bawah kondisi dimana pemadatan diminimalkan.

Mekanisme perpindahan merupakan pergerakan massa sebagai respon dari gaya penggerak (driving force). Mekanisme perpindahan sangat bergantung pada jenis material, ukuran partikel, tahapan proses sinter, temperatur, lama waktu tahan.

Mekanisme perpindahan massa yang terjadi pada proses sinter terdiri dari dua tahap, yaitu:

A. Transport permukaan (surface transport)

Tahap ini meliputi:

Pertumbuhan leher tanpa perubahan kedudukan partikel tanpa pemadatan Merupakan hasil aliran massa yang berasal dan berakhir pada permukaan partikel Tidak ada perubahan dimensi (dimensi relatif konstan) Difusi permukaan dan penguapan-pengembunan adalah kontributor penting selama transport permukaan.

B. Transport ruah (bulk transport)

Tahap ini meliputi:

Meliputi difusi volume, difusi batas butir, aliran plastis dan viskos (khusus padatan amorf). Terjadi perubahan density Pergerakan dislokasi teramati pada beberapa kasus. Lebih aktif pada tahap sinter akhir (temperatur sinter yang lebih tinggi) .

Proses sinter dilakukan di dalam dapur yang tertutup untuk mencegah pengaruh dari udara di sekeliling dapur . Pada umumnya perubahan yang terjadi dalam serbuk hasil kompaksi yang dilakukan proses sinter ialah sebagai berikut:

- a. Partikel mulai saling berikatan sehingga meningkatkan konduktivitas listrik dan panas, serta kekuatan mekanis.
- b. Apabila temperatur dan waktu sinter diperpanjang maka kekuatan mekanis akan meningkat secara berkelanjutan.

- c. Peningkatan temperatur dan waktu sinter akan mengurangi jumlah porositas yang ada.
- d. Terjadi pertumbuhan butir sehingga hasil ukuran butir akan lebih besar daripada ukuran butir sebelum dilakukan proses sinter.
- e. Apabila kondisi atmosfer dapur baik, udara yang terperangkap dalam butir akan keluar dan partikel oksida berkurang.

6. Liquid phase sintering

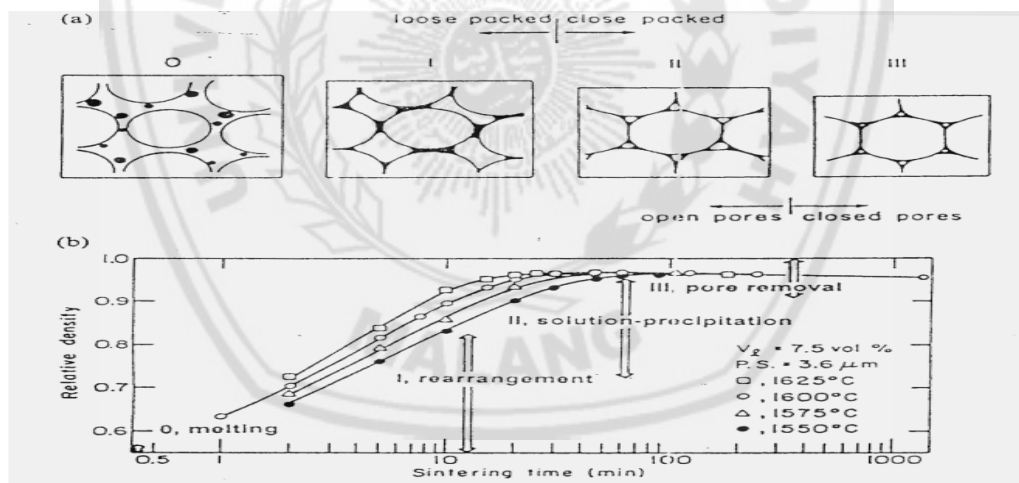
Liquid phase sintering merupakan proses sinter yang dilakukan pada temperatur tertentu dengan melibatkan fasa cair. Syarat material logam yang dapat dilakukan proses liquid phase sintering adalah cairan logam harus dapat membentuk lapisan di sekeliling fasa padatan dan cairan logam harus memiliki kelarutan terhadap fasa padat, contohnya ialah Fe-Cu, Cu-Sn, W-Cu, dan lain-lain.

Tiga tahapan yang terjadi setelah fasa cair terbentuk adalah pengaturan kembali fasa cair (rearrangement), diikuti kelarutan-pengendapan kembali (solution reprecipitation) dimana terjadi perpindahan massa, kemudian pemadatan akhir (final densification), seluruh pori terisi oleh fasa cair dengan jumlah fasa cair minimal 26% volume cairan.

Pada proses liquid phase sintering , terdapat dua kelarutan yang harus diperhatikan, yaitu kelarutan cairan dalam padatan dan kelarutan padatan dalam cairan. Kelarutan cairan dalam padatan yang tinggi tidak disukai karena mendorong fasa cair masuk ke dalam fasa padat. Selanjutnya terbentuk kelarutan

yang tidak setimbang sehingga timbul porositas dan terjadi pengembangan selama proses sinter.

Peristiwa timbulnya porositas ini sering disebut dengan istilah swelling. Sedangkan kelarutan padatan dalam cairan yang semakin besar sangat diinginkan karena mendorong fasa padat masuk ke dalam fasa cair sehingga mengisi porositas yang berada di dalam matriks. Peristiwa terisnya porositas ini disebut dengan istilah pemadatan. Kelarutan partikel padat tergantung pada ukuran partikel dimana semakin kecil ukuran partikel, maka kelarutan akan semakin tinggi. Kelarutan yang baik bermanfaat bagi pembasahan, kelarutan-pengendapan kembali, pengkasaran butir, dan perubahan dimensi selama proses sinter.



Gambar 2.5 (a). Skema diagram dari tahap-tahap LPS (0) melting, (I) rearrangement, (II) solution precipitation, (III) pore removal

(b).Tahap-tahap LPS dengan contoh densifikasi actual sebagai fungsi temperatur sintering dan waktu pada sistem alumina-glass(Kwon, 1992).

2.4.2 Temperatur sinter

Salah satu faktor yang mempengaruhi perpindahan massa pada proses sinter ialah temperatur. Dengan semakin meningkatnya temperatur sinter, maka sifat mekanis bahan yang telah dilakukan proses sinter akan semakin meningkat pula. Sifat mekanis tersebut antara lain ialah kekerasan, kekuatan, ketahanan aus.

Hal ini disebabkan karena dengan semakin meningkatnya temperatur sinter, maka akan mendorong terjadinya interdiffusion dari serbuk hasil kompaksi (green compact) dan meningkatkan kepadatan produk hasil proses sinter. Akan tetapi, peningkatan temperatur sinter yang lebih tinggi dapat menimbulkan kerugian, seperti penyusutan (shrinkage), keakuratan dimensi berkurang, terjadinya pertumbuhan butir, biaya energi proses dan desain dapur lebih mahal.

Untuk material komposit, temperatur sinter yang digunakan adalah temperatur sinter dari matriks. *Green compact* yang dihasilkan dari proses pemadatan pada temperatur ruangan belum memiliki ikatan atom yang memadai. *Green compact* ini perlu dipanaskan terlebih dahulu hingga mencapai temperatur antara 70% hingga 90% dari titik lebur bahan. Untuk bahan aluminium dengan titik lebur 660 °C, temperatur sinternya berkisar antara 460 °C hingga 590 °C.

2.4.3 Waktu tahan sinter

Peningkatan waktu tahan sinter memberikan pengaruh terhadap sifat mekanik yang hampir sama dengan kenaikan temperatur sinter, tetapi tidak sebesar pengaruh yang dihasilkan oleh peningkatan temperatur sinter. Semakin

tinggi waktu tahan sinter, temperatur sinter, dan green density maka densitas produk hasil proses sinter akan semakin tinggi pula. Namun, kerugian akibat meningkatnya waktu tahan sinter ialah meningkatnya persentase penyusutan, pertumbuhan butir, dan juga meningkatnya biaya proses. Untuk material komposit, waktu tahan sinter yang digunakan adalah waktu tahan sinter dari matriks. Kisaran waktu tahan sinter untuk material komposit aluminium adalah 30-90 menit. Prasetyo (2004)

Pemilihan waktu sintering sangat berpengaruh terhadap karakteristik suatu komposit. Suyanto (2007) melakukan kajian experimental, pengaruh waktu *sintering* terhadap sifat fisik dan mekanik komposit plastik (HDPE, PET). Hasil penelitian disimpulkan bahwa dengan variasi penambahan waktu sintering dari 5, 10, 15, dan 20 menit terjadi peningkatan sifat fisik (densitas, penyusutan) dan mekanik (kekuatan impak, kekuatan lentur) dimana peningkatan maksimum terjadi pada penambahan waktu 10 menit.

2.4.5 Atmosfer sinter

Penggunaan atmosfer sinter bertujuan untuk mengontrol reaksi-reaksi kimia yang terjadi antara bakalan dengan lingkungannya. Di samping itu, penggunaan atmosfer sinter juga bertujuan untuk mengontrol atau melindungi logam dari oksidasi selama proses sinter berlangsung. Gas-gas yang tidak diinginkan dalam atmosfer sinter tidak hanya dapat bereaksi pada permukaan luar bakalan saja, tetapi juga dapat berpenetrasi ke struktur pori dan bereaksi ke dalam permukaan bakalan. Atmosfer yang mengandung unsur pereduksi biasanya digunakan pada proses sinter dengan tujuan memisahkan oksida-oksida yang

terbentuk, serta mendorong terjadinya proses sinter dengan cara membersihkan dan sangat aktif pada permukaan partikel serbuk. Terdapat enam jenis atmosfer yang dapat digunakan untuk melindungi bakalan, yakni hidrogen, amoniak, gas inert, nitrogen, vakum, dan gas alam. Sebagai contoh, atmosfer vakum sering digunakan sebagai atmosfer sinter karena prosesnya bersih dan kontrol atmosfer mudah. Atmosfer hidrogen juga disukai karena kemampuannya untuk mereduksi oksida dan menghasilkan atmosfer dekarburisasi untuk logam ferrous. Gas-gas inert seperti argon dan helium juga digunakan karena tidak bereaksi dengan bakalan.

Pengontrolan atmosfer merupakan hal yang cukup penting selama proses sinter berlangsung. Namun bukan hanya atmosfer yang dapat menyebabkan terjadinya reaksi kimia, tetapi juga serbuk yang telah dikompaksi biasanya terkontaminasi oleh oksida-oksida, karbon, dan gas-gas yang terperangkap, sehingga ketika dilakukan pemanasan terjadi perubahan komposisi atmosfer sinter. (Dhian, 2008)

2.5 Scanning Electron Microscope (SEM)

Scanning Electron Microscope (SEM) merupakan salah satu tipe mikroskop elektron yang mampu menghasilkan resolusi tinggi dari gambaran suatu permukaan sampel. Oleh karena itu gambar yang dihasilkan oleh SEM mempunyai karakteristik secara kualitatif dalam dua dimensi karena menggunakan elektron sebagai pengganti gelombang cahaya serta berguna untuk menentukan permukaan sampel. Material yang dikarakterisasi SEM yaitu berupa lapisan tipis yang memiliki ketebalan 20 μm dari permukaan.

Gambar topografi permukaan berupa tonjolan, lekukan dan ketebalan lapisan tipis dari penampang melintangnya (Mulder, 1996). SEM atau mikroskop elektron ini memfokuskan sinar elektron (*electron beam*) dipermukaan obyek dan mengambil gambar dengan mendeteksi elektron yang muncul pada permukaan obyek. Perbedaan tipe yang berbeda dari SEM memungkinkan penggunaan yang berbeda dari SEM memungkinkan penggunaan yang berbeda-beda antara lain untuk studi morfologi, analisis komposisi dengan kecepatan tinggi, kekasaran permukaan, porositas, distribusi ukuran partikel, himogenitas material atau untuk studi lingkungan tentang masalah sensitifitas material (Sitorus, 2009).

Scanning Electron Microscopy (SEM) merupakan mikroskop elektron yang dapat digunakan untuk mengamati morfologi permukaan dalam skala mikro dan nano. Teknik analisis SEM menggunakan elektron sebagai sumber pencitraan dan medan elektromagnetik sebagai lensa. SEM yang dilengkapi dengan *Energy Dispersive X-ray* (EDX) dapat mengetahui struktur mikro serbuk material yang dihasilkan dalam penelitian ini.

2.6 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan rockwell mirip dengan pengujian brinell, yakni angka kekerasn yang diperoleh merupakan fungsi derajat indentasi. Beban dan indenter yang digunakan bervariasi tergantung pada kondisi pengujian. Berbeda dengan pengujian brinell, indenter dan beban yang digunakan lebih kecil sehingga menghasilkan indentasi yang lebih kecil dan lebih halus. Banyak digunakan di industri karena prosedurnya lebih cepat (davis, troxell, dan wiskocil, 1955).

Indentor dapat berupa bola baja atau kerucut intan dengan ujung yang agak membulat (biasa disebut “brale”). Diameter bola baja umumnya 1/16 inchi, tetapi terdapat juga indentor dengan diameter lebih besar yaitu 1/8, 1/4, 1/2, inchi untuk bahan yang lunak. Pengujian dilakukan dengan terlebih dahulu memberikan beban minor 10 kg, dan kemudian diberikan beban mayor, biasanya beban mayor berkisar antara 60 – 100 kg untuk indentor bola baja dan 150 kg untuk indentor brale. Meskipun demikian, dapat digunakan beban dan indentor sesuai dengan kondisi pengujian.

Dial pada mesin terdiri atas warna merah dan hitam yang didesain untuk mengakomodir pengujian skala B dan C yang sering kali dipakai. Skala kekerasan B digunakan untuk pengujian dengan kekerasan medium seperti baja karbon rendah dan baja karbon medium dalam kondisi telah dianil. Range kekerasannya dari 0-100. Bila indentor bola baja dipakai untuk menguji bahan yang kekerasannya melebihi B 100, indentor dapat terdeformasi dan berubah bentuk. Selain itu, karena bentuknya, bola baja tidak se sensitif brale untuk membedakan kekerasan bahan bahan yang keras. Tetapi bila indentor bola baja dipakai untuk menguji bahan lunak dari B 0, dapat mengakibatkan pemegang indentor mengenai benda uji, sehingga hasil pengujian tidak benar dan pemegang indentor dapat rusak. Skala yang umum dipakai dalam pengujian Rockwell adalah :

- a. HRA (Untuk material yang sangat keras).
- b. HRB (Untuk material yang lunak). Indentor berupa bola baja dengan diameter 1/16 Inchi dan beban uji 100 Kgf.

c. HRB(Untuk material dengan kekerasan sedang). Identor berupa Kerucut intan dengan sudut puncak 120 derajat dan beban uji sebesar 150 kgf.

2.7 Aluminium

Alumunium (Al) merupakan unsur yang paling melimpah di bumi dan logam yang paling banyak digunakan setelah baja. Logam ini ditemukan pada tahun 1825 oleh Hans Christian Oersted dan dikembangkan secara industri pada tahun 1886 oleh Paul Heroult di Perancis dan C.M. Hall di Amerika. Secara terpisah mereka berdua telah berhasil memperoleh logam alumunium dari alumina dengan cara elektrolisa.

Untuk bahan – bahan pokok dalam menghasilkan alumunium antara lain bauksit dan kreolit. Bauksit mengandung 55–65% tanah tawas, 2–28% besi, 12– 30% air dan 1–8% asam silikat. Alumunium murni diperoleh melalui cara Bayer dimana bauksit dijernihkan menjadi tanah tawas murni, lalu tanah tawas direduksi hingga menjadi alumunium mentah, melalui elektrolisa lebur dengan kreolit sebagai bahan pelarut natrium alumunium fluorida (Na_3AlF_6) baru peleburan alih wujud menjadi alumunium murni. Umumnya alumunium mencapai kemurnian 99,85% dan jika dielektrolisa kembali maka didapatkan alumunium dengan kemurnian 99,99% atau hampir mendekati 100%. (Tata Surdia dan Shinroku Saito, 1999: 134).

Pada penelitian ini aluminium merupakan bahan dasar yang digunakan sebagai pengujian. Oleh karena itu, perlu bagi penulis untuk mengetahui teori dasar tentang aluminium tersebut antara lain seperti sifat, fungsi dan

logam yang dapat dipadukan. Berikut penulis rangkum pada sub-bab ini terkait teori dasar tentang aluminium.

Sifat dan Kegunaan Aluminium

Alumunium merupakan logam yang dapat dibuat menjadi bentuk yang bervariasi untuk proses pembuatan / pengolahan selanjutnya yaitu: lembaran, pelat, strip, batangan, pipa, kawat dan profil – profil. Karena keunggulannya tersebut membuat alumunium memiliki banyak penggunaan dalam berbagai bidang, misalnya: untuk kontruksi peralatan dan pesawat, wadah pembuatan peralatan untuk masak, wadah penyimpanan dan pengangkutan untuk industri kimia, kedokteran, bahan makanan dan lain sebagainya. Di dalam elektronik alumunium digunakan sebagai penghantar untuk kondensor, kabel dan selubung kabel. Hal ini dikarenakan alumunium bisa diproses dalam berbagai bentuk baik dengan cara ditempa, dituang, dikerjakan dengan mesin, disolder, dikeraskan, dilas, ditarik dan lain –lain. Beberapa sifat alumunium adalah sebagai berikut: (1) Berat jenisnya $2,702 \text{ Kg/dm}^3$, (2) Titik cairnya 660°C , (3) Warnanya mengkilap, (4) Penghantar panas dan listrik yang baik, (5) tahan terhadap korosi, (6) *non-magnetic*. (Alois Schonmetz dan Karl Gruber, 1985: 126).

Pada penelitian ini, sifat dan fungsi Al (aluminium) perlu dipahami. Karena selain menjadi unsur dasar, Al dapat dipadukan dengan unsur lain yang kemudian akan direkayasa melalui proses *metalurgi serbuk* untuk mengetahui bentuk butirannya serta kekerasan.

Berikut adalah jenis paduan alumunium serta spesifikasinya yang akan digunakan pada penelitian kali ini.

Alloy 1050A (www.aalco.co.uk)

Chemical Element	% Present
Manganese (Mn)	0.0 - 0.05
Iron (Fe)	0.0 - 0.40
Copper (Cu)	0.0 - 0.05
Magnesium (Mg)	0.0 - 0.05
Silicon (Si)	0.0 - 0.25
Zinc (Zn)	0.0 - 0.07
Titanium (Ti)	0.0 - 0.05
Other (Each)	0.0 - 0.03
Aluminium (Al)	Balance

Tabel 2.2 Unsur paduan Alumunium 1050

2.8 Titanium

Sifat Titanium baik sifat kimia dan fisik mirip dengan zirkonium, karena keduanya memiliki jumlah elektron yang sama valensi dan berada dalam kelompok yang sama dalam tabel periodik.

Unsur logam, titanium diakui memiliki kekuatan-to-weight ratio tinggi. Ini adalah logam kuat dengan kepadatan rendah yang cukup ulet (terutama di

lingkungan bebas oksigen), berkilau, dan logam- berwarna putih titik lebur yang relatif tinggi (lebih dari 1.650°C atau 3000°F). Hal ini berguna sebagai logam tahan api. Tetapi Titanium merupakan paramagnetik dan memiliki konduktivitas listrik dan termal yang cukup rendah.

Komersial (99,2% murni) nilai dari titanium memiliki kekuatan tarik utama dari sekitar 63.000 psi (434 MPa), sama dengan paduan baja ringan, tetapi Titanium 45% lebih ringan. 60% lebih padat daripada aluminium, tapi lebih dari dua kali lebih kuat sebagai paduan aluminium 6061-T6 paling sering digunakan. paduan titanium tertentu (misalnya, Beta C) mencapai kekuatan tarik lebih dari 200.000 psi (1.400 MPa).

Berikut spesifikasi Titanium tipe Ti6Al4v yang digunakan pada penelitian kali ini sebagai campurannya :

Chemical Element	Present
Titanium (Ti)	89,45 %
Aluminum (Al)	3.9 %
Vanadium (V)	3.9 %
Iron (Fe)	0.4 %
Residuals	0.4 %
Oxygen (O)	0.2 %
Carbon (C)	0.080 %
Nitrogen (N)	0.050 %
Hydrogen (H)	0.0050 %

Yttrium (Y)	0.0050 %
-------------	----------

Tabel 2.3 Unsur paduan Titanium Ti6Al4v

